

2スピーカ立体再生方式における音像定位の研究

著者	後藤 敏幸
号	804
発行年	1985
URL	http://hdl.handle.net/10097/11753

氏 名	後 藤 敏 幸
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 60 年 12 月 11 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 28 年 3 月 九州大学工学部機械工学科卒業

学 位 論 文 題 目 2 スピーカ立体再生方式における音像定位の研究

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 城戸 健一 東北大学教授 中鉢 憲賢
東北大学教授 曾根 敏夫

論 文 内 容 要 旨

人間生活にかかわる音環境の計画・設計・評価の研究にとって、人の聴空間を自由に再生できることは、実験心理学の面から研究を進展させる上で、極めて基本的、かつ有効な方法である。しかしながら、現在までの電気音響技術では、人を特定しなければ正しい再生は難しく、まだ聴空間の自由な再生は達成されていない。本研究は、人の聴空間の自由な再生を、不特定の人に対して行なうことのできるシステムを作り出すことを目的とする。

まず、音像定位に関する有効音響信号を得るために、心理音響面からのアプローチを行なう。音像定位モデルとして、心理音響の音像定位のキューに対応させた音像定位の信号処理モデルを新たに設定し、その構成を心理実験により検証する。このモデルの考えに基づき、ステレオホニーでスピーカに与える信号を電氣的に制御できる合成音像の定位制御回路を誘導する。この制御回路を使って 2 スピーカで不特定の受聴者の周囲の任意の点に合成音像を定位できることを示す。次に、この点定位する合成音像を新たな音源（虚スピーカ）と見なし、この虚スピーカを 2 スピーカ立体再生方式のスピーカとして使って、さらに新音像を合成し、この新音像をスピーカ位置の外側に、点、または連続的に定位させること、およびスピーカ位置と受聴者の間の任意の距離に定位させることを実験により示す。また 2, 3 の応用例について言及する。

第1章「序論」，1-1節「まえがき」では，本研究の目的と概要について述べる。

1-2節「電気音響伝送系の問題点」では，聴空間的事象の再生のための電気音響伝送系においては，現在，原音場の忠実な伝送に関して原音場の空間パターンの伝送再生はまだ十分なレベルには達していないこと，音環境を実験室でシミュレーションするための色々な電気音響伝送系について比較検討を行ない，バイノーラル収音再生システムは条件変更に不利であること，マルチスピーカ再生システムもスピーカ配置の変更に不便であることから，2スピーカステレオホニーが，合成音像の自由な定位において問題を残すものの，有効な方法であることを明らかにする。

次に，2スピーカステレオホニーの音像定位の問題点を明らかにするため，各音源のオンマイク収音信号を電氣的に2チャンネルへ配分して合成音像の定位を行なう2スピーカステレオホニーの技術に関して，現在までの研究の達成水準および技術的限界を調べる。近年になって受聴者の両外耳道音圧を複素数的に取り扱えるようになってから，受聴者を特定すれば，比較的自由に受聴者の周囲の一点に合成音像を定位できるようにはなったが，他の受聴者に同じ信号を与えると合成音像の定位精度が極めて悪くなるという問題があること，また合成音像の定位位置を連続点として動かしたり，スピーカより内側の受聴者までの任意の位置に定位させることはできないことを明らかにする。

1-3節「研究の課題」では，音場シミュレーションのための2スピーカステレオホニーによる合成音像定位において，いままで達成されていない課題を明らかにする。すなわち，研究課題としては，(1)不特定の人に合成音像を比較的正しく定位させる方法と，(2)スピーカ外側での合成音像の連続的な定位制御や，(3)受聴者近傍への合成音像の自由な距離定位を可能にすることである。

第2章「音像定位に必要・有効な信号の検討」，2-1節「有効信号解析のための音像定位モデルの提案」では，近年の，特定者の両外耳道音圧波形を忠実に再生する方法のもつ受聴者が限定されるという欠点を補う方法として，心理音響面から，音像定位のために必要で，有効な信号を見出し，これを両耳入力信号とすれば，信号精度に対する許容度は大きくなるという考えに立ってアプローチを行なう。まず人の聴空間知覚を次のような伝送系と考える。音源の音響信号を入力として心理空間に，対応する音像を出力するという一種の物理心理伝送系，すなわち物理空間では音源の音響信号をエンコードして，両耳チャンネル系を通して伝送し，心理空間でこの信号をデコードして音像を出力するという伝送系と考える。有効信号を求めるため，心理側の情報の利用，すなわち，デコードの仕組みを音像定位の信号処理モデル（以下，音像定位モデルと呼ぶ）を用いて解析を試みる。従来のモデルでは，音像定位が十分説明しきれていないので，心理音響の音像定位のキュー，すなわち，スペクトルキューと両耳差キューを用いて，新しく diotic, dichotic 処理項をもつ音像定位モデルを仮定する。

次に，このモデルを定量化するため，頭部伝達関数を用いた音像定位モデルの構成を試みる。自由音場での音像定位を取り扱い，自然受聴時の音源から両耳に至る一対の頭部伝達関数が両耳信号を一義的に規定するので，頭部伝達関数をブロック変換して，両耳に共通に作用する diotic 項と，両耳に差を与える dichotic 項に分解することができる。音像定位の信号処理プロセスは，これら

2 項から成立するものとして新しく音像定位モデルを提案する。

2-2 節「提案音像定位モデルの検証と有効信号の確定」では、上述の音像定位モデル構成要素、すなわち diotic 項と dichotic 項が、音像定位に同時に作用するかどうかを確かめるために、心理実験で検証を行なう。なお実験に先立ち、被験者の実音源定位能力、音源信号の種類による影響、クロストーク除去用衝立遮蔽板の影響を予備実験により調べる。

実験の結果、diotic に加えられたスペクトル歪みによって、水平面内の方向定位、特に前後定位の誤判定が生じることが明らかになった。これにより、音像定位モデルの構成として、diotic 項と dichotic 項の信号処理が同時に働いていること、および心理音響で言うスペクトルキューは主として前後判断に寄与していると言う知見を得た。

2-3 節「まとめ」では、心理音響のキューを用いて音像定位モデルを仮定して検討した結果、音像定位に有効な音響信号は、diotic 信号と dichotic 信号から構成され、そのおのおのが同時に作用することを結論する。また、diotic 信号と dichotic 信号の、おのおのを同時に制御することにより、音像定位を自由に制御しうる可能性のあることが示唆される。

第 3 章「合成音像定位法の誘導と心理実験」、3-1 節「合成音像の定位制御回路の誘導」では音響伝送系の立場から、不特定の受聴者への音像の再生を目的として、音像定位に有効な信号を再生するための合成音像定位制御回路（音像定位に有効な両耳入力信号の再生のため、音像定位モデルにおける diotic 項と、dichotic 項に対応する音響信号の処理回路、すなわち両耳共通信号と、両耳差異信号を作る 2 つの電気回路からなる）を設定し、回路の伝達関数を、頭部伝達関数を使って理論的に誘導する。これは音源の音響信号を両スピーカへ分配する 2 チャンネルの径路に、両チャンネルに共通に入る diotic 制御回路と、一方のチャンネルのみに入る dichotic 制御回路とから構成される。

3-2 節「心理実験による定位制御回路の性能確認」では、まず心理実験により、音像定位制御回路は、自由音場での 2 スピーカステレオホニーにおいて、不特定受聴者のほぼ全周囲に合成音像を定位させることが可能なことを示す。さらに、diotic 制御回路と dichotic 制御回路の合成音像定位における役割を分析するために、消去比較実験を行ない、diotic 制御回路は前後の音像定位に主として関与し、dichotic 制御回路は主として左右の音像定位を受けもつことを示し、両 2 回路を併用するとき、初めて受聴者のほとんど全周囲に合成音像を定位しうることを示す。

3-3 節「まとめ」では、音像定位モデルが示す diotic 項と dichotic 項の信号処理を、2 スピーカに接続する電気回路に挿入した制御回路で行なうことにより、合成音像を受聴者の殆ど全周囲に定位させることができることを結論する。

第 4 章「合成音像による新音像の合成と応用」、4-1 節「新音像のスピーカ外側連続定位制御」では、本音像定位制御回路で作られた点定位する合成音像を一つのスピーカ（虚スピーカ）として、他方を実際のスピーカ（実スピーカ）としたステレオホニーで、点定位する新しい合成音像を作り出すことができることを実験で示す。レベル差は自由に連続可変できるので、合成音像の定位も連

続移動となる。

4－2 節「新音像の距離定位制御」では、音像定位制御回路を使って両耳軸上に左右 2 個の合成音像を定位させ、同レベル、同位相の信号を与えることで、虚スピーカを受聴者の頭内に定位させ、実スピーカを他方とした半径方向のスピーカ配置を考えると、そのスピーカ間のレベル差配分で合成音像を、受聴者から実スピーカまでの任意の距離に連続定位させることができることを実験で示す。

4－3 節「応用」では、4－1 節から 4－2 節に示した効果を使用して、まず商業的に作られたステレオ・プログラムソースに対して、合成音像を受聴者の前半円周に、本来の位置より拡大して定位させることのできる装置について説明する。さらに、上述の効果をディスクリート 4 チャンネルステレオに応用し、受聴者後方配置のスピーカへの音響信号を、合成音像で後方左右に作った虚スピーカから放射させることにより、2 スピーカ・4 チャンネルステレオで、4 スピーカ並の効果を生むことができる装置について説明する。

次に、これらの技術を総合して、音像定位制御法としてレコーディング・スタジオ用調整卓に適応できる、従来のマルチトラック録音された各楽器音を、2 スピーカステレオホニーで受聴者の任意の方向・距離に定位させるように、信号処理を行なう装置について述べる。この装置を利用すれば音像の自由な定位再生が可能であり、プロフェッショナルオーディオや、音環境の研究に有用なシステムを構成できることを示す。

第 5 章「結論」では、5－1 節「研究のまとめ」で本研究を総括する。すなわち、頭部伝達関数の変換から、音像定位における音像定位モデルにおける diotic 項と dichotic 項の役割を明らかにし、diotic 項と dichotic 項を電氣的に制御することにより、2 スピーカで不特定の受聴者の周囲の任意の点に合成音像を定位できること、この点定位合成音像を新たな音源と見なして、さらに新しい合成音像の点または連続的な合成、ならびに距離定位が可能なことを結論として述べる。5－2 節「今後の研究の課題と展望」で、本研究の残された課題について述べる。

審 査 結 果 の 要 旨

音響信号を電気信号に変換して、伝送、記録した上で再生することが可能になってから既に100年を経過しているが、再生音を聴取する際に主観的に感じる音源の位置、即ち音像を自由に制御する技術は、未完成である。従来この目的のためには、多数のスピーカを使うことが必要とされていたが、再生時における耳への入射波形の精密な制御により、ヘッドホン受聴または2スピーカ受聴でも、音像制御は可能になるべきである。著者は、このような観点から、2スピーカによる再生音場での音像の定位について研究し、心理音響学的な音像定位のモデルを提案し、それを利用することにより、不特定の受聴者の周囲の任意の点に合成音像を定位させ得ることを示した。本論文はこの研究の成果をまとめたもので、全文5章よりなる。

第1章は序論であり、研究の背景と目的を述べている。

第2章では、音像の定位に有効な信号が何であるかを検討し、音像定位のモデルを提案している。ここで、人の聴覚系を物理的な音響信号が入力されて心理空間に出力される伝送系とみなし、その伝送系を両耳に共通に作用する diotic 項と両耳に差を与える dichotic 項とに分解し、diotic 項は主として音像の前後の定位に関与し、dichotic 項は主として左右の定位を受持つことを明らかにしているのは、音像定位の研究に貢献するものとして評価される。これはまた、本研究の基礎となる重要な知見である。

第3章では、前章の結果に基づき合成音像を定位する方法を誘導し、その有用なことを心理実験によって確かめている。即ち、ここでは不特定受聴者への2スピーカを用いての音像再生を目的として、音像定位モデルにおける diotic 項と dichotic 項とに対応する定位制御電気回路を頭部伝達関数を使って設計し、無響室実験により、diotic 制御回路では主に前後の音像定位が、dichotic 制御回路では主に左右の音像定位が制御されることを明らかにして、前章の知見を確認している。

第4章では、2スピーカを用いて合成した音像を虚スピーカとし、それを実際のスピーカと共に使って、さらに新しい音像を合成する方法を提案し、それにより、2スピーカの外側の方向も含めて任意の位置に音像を移動させ得ることを実験的に検証し、音響再生装置への応用を示している。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、聴覚系における音像定位に関して工学的手段を駆使した心理音響学的実験を行い、その成果に基づいて音像定位モデルを提案し、無響室内ではあるが、2スピーカによって任意の位置に音像を定位させることを可能にしたもので、音響工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は、工学博士の学位論文として合格と認める。